Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 2, June. July. 2020, p. 331- 341

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 2، خرداد-تیر 1399 ص.341-331

کوتاه پژوهشی

مطالعه تجربی و بررسی عملکرد شبکه‌های عصبی MLP و RBF برای مدل‌سازی فرآیند خشک شدن شلتوک در خشک‌کن مایکروویو

محمدابراهیم محمدپور میر[1]- سارا نانواکناری[2]- کامیار موقرنژاد [3*]

تاریخ دریافت: 1398/02/27
تاریخ پذیرش: 1398/06/05

چکیده

برنج یکی از گیاهان مهم تیره غلات است و غذای اصلی اکثر مردم دنیا به‌شمار می آید. خشک کردن برنج بعد از برداشت، به جهت غیرفعال کردن عاملین فساد، امری مهم و ضروری است. در این تحقیق به‌منظور بررسی اثر توان مایکروویو بر روی سینتیک خشک شدن شلتوک، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، درصد برنج سالم و کیفیت برنج از یک خشک‌کن مایکروویو استفاده شده است. به‌منظور خشک کردن شلتوک از رطوبت اولیه 21 درصد تا رطوبت نهایی 11 درصد از 3 توان270، 360 و 450 وات استفاده شد. همچنین مدل‌سازی سینتیک خشک شدن شلتوک در خشک‌کن مایکروویو با استفاده از 2 شبکه عصبی MLP و RBF انجام شد. نتایج حاصل از این بررسی بدین صورت بوده که حداکثر و حداقل زمان خشک شدن به‌ترتیب در توان 270 و 450 وات و برابر با 42 و 20 دقیقه بوده است. با افزایش توان مایکروویو میزان شکستگی افزایش یافته و درصد برنج سالم کاهش می‌یابد. و همچنین خشک کردن برنج توسط خشک‌کن مایکروویو تاثیری بر روی کیفیت برنج نداشته است. از نتایج مدل‌سازی انجام شده می‌توان دریافت که شبکه RBF با تابع انتقال گوسی با شاخص پراکندگی و تعداد نورون بالا بهترین عملکرد را در قیاس با سایر حالات طراحی شده در شبکه RBF داشته است و شبکه MLP با الگوریتم آموزش لونبرگ مارکوارت و تابع انتقال تانژانت سیگموئید با تعداد نورون پایین قادر بوده مدل‌سازی سینتیک خشک شدن را به‌خوبی انجام دهد. به‌طور کلی شبکه عصبی MLP عملکرد بهتری نسبت به شبکه عصبی RBF داشته است و میزان خطا و ضریب همبستگی آن به‌ترتیب کمتر و بیشتر از شبکه عصبی RBF بوده است.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کن مایکروویو، درصد برنج سالم، سینتیک خشک کردن شلتوک، شبکه عصبی، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، کیفیت برنج.

مقدمه

ارزش غذایی برنج سبب شده که این ماده به‌عنوان غذای اصلی در اکثر کشورها مورد استفاده قرار گیرد و نقش چشمگیری در تغذیه مردم دنیا داشته باشد. در کشور ایران نیز قسمت عمده‌ای از زمین‌های کشاورزی به کشت این محصول تخصیص یافته است (کلیکانلو و همکاران، 1396). شلتوک برداشت شده رطوبت بالایی دارد که این رطوبت، زمینه ساز فعالیت باکتری‌ها در محصول می‌شود که به سبب آن محصول فاسد می گردد. به‌جهت ممانعت از فساد می‌بایست رطوبت شلتوک برداشت شده را تا رطوبت مطلوب (10-13 درصد)کاهش داد (Scala *et al*., 2013). اخیراً برای بر طرف کردن مشکلات ناشی از هدایت حرارتی پایین در محصولات غذایی و دست یافتن به فرایند تأثیرگذار، استفاده از مایکروویو برای خشک کردن مواد غذایی افزایش یافته است (Kouchakzadeh & Shafeei, 2010). در فرایند خشک کردن توسط مایکروویو به علت تمرکز بهتر انرژی، رطوبت با سرعت بیشتری خارج شده و مدت زمان خشک شدن نیز کاهش می‌یابد (Maskan, 2000). در این خشک‌کن‌ها، از تابش امواج مایکروویو که محدوده فرکانس آن بین 300 تا 300000 مگاهرتز و طول موج آن بین 1 میلی‌متر تا 1 متر می باشد، برای خشک کردن محصولات استفاده می‌شود (Hemis *et al*., 2012). عملکرد امواج مایکروویو وابسته به حضور مولکول‌های قطبی همانند آب در مواد غذایی بوده است. زمانی که یک میدان الکتریکی بر یک ماده غذایی اعمال می‌شود، مولکول‌های قطبی هم راستا با میدان چرخش نموده و با آن هم جهت می‌شوند و این امر باعث برخوردهای تصادفی با مولکول‌های همسایه می‌شود. هنگامی که جهت میدان عکس شود، مولکول‌های قطبی دوباره برای هم جهت شدن با میدان تلاش می‌کنند که باعث برخوردهای زیادی در ماده غذایی می‌شود (Therdthai & Zhou,

1، 2 و 3- به‌ترتیب کارشناس ارشد، دانشجوی دکتری و استاد، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.
(*-نویسنده مسئول: Email: k-movaghar@nit.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i2.80737

2009). پژوهشگران بسیاری همچون (Alibas, 2014)، (Darvishi *et al.*, 2013)، (Karaaslan & Tuncer, 2008) و (Motevali *et al.*, 2014) به بررسی رفتار خشک‌شدن محصولات کشاورزی توسط خشک‌کن‌های مایکروویو پرداختند. نتایج مطالعات آنها حاکی از این بوده که با افزایش سطح توان مایکروویو، رطوبت محصولات با سرعت بیشتری خارج می‌شود و شیب نمودار رطوبت بر حسب زمان نیز در انتهای فرآیند کم می‌شود.

روابط پیچیده‌ای بین پارامترهای ورودی و خروجی در فرآیند خشک‌کردن حاکم است. از این رو، برگزیدن مدلی که بتواند رفتار خشک شدن محصولات را با حداقل خطا تخمین بزند، امری سخت بوده است (Cao & Wang, 2002). روش عمومی برای ارزیابی پارامترهای کیفی محصولات کشاورزی، روش آماری و حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر فرآیند بوده است. مدل‌های آماری یا معادلات رگرسیونی تابعی از فرضیات بوده است. در این روش، پدیده به‌وسیله یک معادله جبری بیان می‌شود سپس فرضیات مسأله در آن لحاظ می‌گردد. تحلیل آماری این نوع مسائل به ارائه تعدادی روابط ریاضی نیازمند بوده است که معمولاً برای استفاده و تفسیر دشوار می‌باشد (Farkas *et al.*, 2000). با توجه به پیچیده بودن روابط بین پارامترهای مستقل و وابسته، به‌کارگیری روش‌های مدل‌سازی هوشمند، بهترین انتخاب است. یکی از این روش‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی بوده که شامل مجموعه‌ای از عناصر محاسباتی متصل به همدیگر می‌باشد که شبیه به نرون‌های زیستی بوده که توانایی این را دارد که بدون هیچ دانش قبلی ارتباط ذاتی بین داده‌های مسأله را به‌دست آورد (مختاریان و کوشکی 1391; Kamali *et al.*, 2015).

مطالعات انجام شده در زمینه خشک کردن برنج بدین گونه بوده که مینایی و همکاران (2003)، به بررسی اثر دمای هوا 40 و 60 درجه سانتی‌گراد و رطوبت تبدیل دانه 12و 14درصد بر ضایعات تبدیل دو رقم متداول شلتوک (بینام و علی کاظمی) پرداختند. نتایج حاصل شده از بررسی آنها این بوده که دمای 40 درجه سانتی‌گراد و محتوای رطوبت دانه 14 درصد کمترین شکستگی را در هر دو رقم داشته ولی رقم علی کاظمی دارای ضایعات بیشتری بوده است. فیروزی و علیزاده (2013)، به بررسی اثر زمان برداشت و محتوای رطوبت شلتوک (رقم هاشمی) بر میزان ترک و شکستگی برنج تبدیل شده پرداختند. آنها دریافتند که زمان برداشت 30 روز پس از 50 درصد گل‌دهی محصول و رطوبت 8-9 درصد بر مبنای خشک باعث کمترین میزان شکستگی و ترک خوردگی می‌شود. حسن جعفری و همکاران (1394)، به بررسی نرخ تغییر رطوبت و درصد شکستگی دانه‌های شلتوک با استفاده از خشک‌کن مایکروویو پرداخته، آنها دریافتند که که با بالابردن توان از 90 تا 450 میزان شکستگی افزایش یافته و زمان خشک شدن نیز کاهش می‌یابد و توان بالاتر از 450 به‌دلیل سوختگی توصیه نمی‌شود. در تحقیقی دیگر، Jafari و همکاران (2018)، به بررسی انرژی مصرفی و بررسی کیفی خشک شدن شلتوک در خشک‌کن مایکروویو پرداختند، در این بررسی آزمایش‌ها در 3 سطح توان ۲۷۰،۹۰ و450 و دارای سرعت 0/24 متر بر دقیقه و در ضخامت شلتوک 6، 12 و 18 میلی‌متر انجام شده است. نتایج بدست آمده بدین گونه بوده که ماکزیمم بازده انرژی، ماکزیمم بازده گرمایی و کمترین مصرف ویژه انرژی و کمترین شکستگی برنج در توان 90 و عمق 18 میلی‌متر اتفاق افتاد.

مطالعات انجام شده در زمینه مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن موادغذایی توسط شبکه عصبی بدین گونه بوده که Salehi و همکاران (2015)، به‌منظور کاهش آب و جذب مواد جامد، در طی خشک‌کردن اسمزی زرد آلو، از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی استفاده نمودند. نتایج این محققان نشان داد که بهترن مدل برای پیشگویی پارامترهای فوق دارای 1 لایه پنهان و 14 نرون می‌باشد. خوش تقاضا و همکاران (1395) به بررسی خشک شدن لایه نازک قارچ خوراکی پراختند. در این تحقیق از خشک‌کن هوای داغ در 3 سطح دما 40، 50 و 60 درجه‌ی سانتی‌گراد و 3 سطح سرعت جریان باد 0/5، 0/75 و 1 متر بر ثانیه استفاده شده تا محتوای رطوبتی آن به 10% (بر پایه وزن خشک) برسد. نتایج نشان داد که مدل رگرسیونی درجه دوم و شبکه عصبی با ساختار 1-18-20-3 با توابع آستانه سیگموئید و لگاریتمی عملکرد بهتری داشتند و از دقت قابل قبولی در تخمین رطوبت لایه نازک قارچ در هنگام خشک شدن دارا می باشند. یوسفی و همکاران (1396)، به مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن برش‌های لیموترش به روش تابش مادون قرمز توسط شبکه عصبی هیبریدی و 7 مدل رایج ریاضی پرداختند. این بررسی در 2 ضخامت 5 و10 میلی‌متر و 4 دما 100، 125، 150 و 175 درجه سانتی‌گراد انجام شد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی هیبریدی دقت بالایی نسبت به 7 مدل رایج داشته است. Rad و همکاران (2018) به بررسی و مدل‌سازی خشک شدن توت سفید در خشک‌کن مادون قرمز پرداختند. در این تحقیق از 3 متغیر سرعت، دما و توان استفاده شد و مدل‌سازی آن توسط مدل ریاضی، مدل فازی و شبکه عصبی انجام گرفت. نتایج نشان داد در میان مدل‌های ریاضی، مدل میدلی بهترین عملکرد را داشته است و در مجموع مدل فازی توانسته مدل‌سازی بهتری را انجام دهد. در تحقیق دیگری که توسط Zhang و همکاران (2002) انجام شده، برای پیش‌بینی شاخص‌های انرژی مصرفی، ترک دانه، رطوبت نهایی، آهنگ دفع رطوبت، شدت خشک شدن و آهنگ دفع جرم آب برای فرآیند خشک شدن شلتوک به‌وسیله چهار متغیر ورودی که ضخامت لایه برنج، دبی هوای گرم، دما هوا و زمان خشک شدن بوده از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. بعد از چند پیش‌بینی بوسیله الگوریتم‌های آموزش شبکه عصبی مصنوعی، مدل بهینه آن توسط یک شبکه چهار لایه با الگوریتم پس انتشار خطا به‌دست آمد که به‌ترتیب 8 و 5 نرون در لایه اول پنهان و دوم پنهان داشتند. میزان دقت مدل پیشنهادی یاد

شده به‌وسیله داده‌های آزمایش تعیین گشت، که خطای نسبی میانگین از 2 تا 8/3 درصد برای شش پیش‌بینی گوناگون با میانگین 4/4 درصد تغییر می‌کرد. به‌وسیله یک برنامه‌نویسی چندمنظوره‌ای برای بهینه‌سازی پارامترهای خشک‌کردن در محدوده آزمایش‌ها، مقادیر بهینه ضخامت لایه برنج، سرعت هوای ورودی، دمای هوای ورودی و زمان خشک‌کردن به‌ترتیب برابر 66 سانتی‌متر، 0/3 متر بر ثانیه، 93 درجه‌ی سانتی‌گراد و 23 دقیقه به‌دست آمد. در این آزمایش‌ها، مقادیر بهینه مصرف انرژی 2719/5 کیلوژول برکیلوگرم، ترک دانه 2/86 درصد، میزان رطوبت نهایی 14 درصد بر مبنای خشک، آهنگ دفع رطوبت2/17 درصد بر ساعت، شدت خشک شدن 24/45 کیلوگرم بر ساعت متر مربع و آهنگ دفع جرم آب 2/23 کیلوگرم بر ساعت به‌دست آمد. امیری چایچان و همکاران (1388)، در تخمین ضریب تبدیل شلتوک با استفاده از شبکه‌های عصبی در خشک‌کردن بسترسیال به این نتیجه رسیدند که شبکه پس انتشار پیشرو با توپولوژی 7 - 13-7 -1 و الگوریتم آموزش لونبرگ- ماکوارت و تابع انتقال تانژانت سیگموئید قادر است بازده تبدیل شلتوک را به برنج سفید به‌خوبی تخمین بزند و همچنین آنها به این نتیجه رسیدند که دمای هوای ورودی و میزان رطوبت نهایی شلتوک، بیشترین اثر را بر ضریب تبدیل شلتوک به برنج سفید در خشک‌کردن بسترسیال دارند. Momenzadeh و همکاران (2011) نیز مطالعاتی بر روی خشک‌کردن پوست ذرت توسط مایکروویو بستر سیال به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با تابع انتقال تانژانت سیگموئید و پس انتشار بالاترین دقت و کمترین خطا را در پیش‌بینی خشک کردن پوست ذرت داشته است.

فرآیند خشک کردن در بین عملیات تبدیل بسیار مهم بوده و رعایت اصول فنی و علمی در فرآیند خشک کردن شلتوک، سبب افزایش کیفیت و بازده تبدیل می‌شود (Yadollahnia, 2006). ارزیابی و بررسی سینتیک خشک شدن شلتوک و مدل‌سازی آن در حالت‌های متفاوت منجر به شناخت چگونگی خشک شدن محصول می‌شود و از آن می‌توان در طراحی و بهینه سازی فرآیند خشک‌کردن استفاده نمود. در این تحقیق به بررسی اثر توان مایکروویو بر روی سینتیک خشک شدن شلتوک، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، درصد برنج سالم و کیفیت برنج پرداختیم. سپس برای مدل‌سازی رفتار خشک شدن شلتوک تحت توان‌های مختلف در خشک‌کن مایکروویو از 2 شبکه عصبی MLP و RBF استفاده شد و در نهایت عملکرد این دو شبکه عصبی در پیش‌بینی سینتیک خشک شدن شلتوک در خشک‌کن مایکروویو مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از شلتوک رقم شیرودی که یکی از ارقام پرمصرف در کشور بوده استفاده شد. ابتدا برای تعیین میزان محتوی رطوبتی شلتوک، نمونه‌های 300 گرمی شلتوک به مدت 24 ساعت در آون آزمایشگاهی با دمای 103 درجه سلسیوس قرار داده شد. رطوبت اولیه نمونه‌ها از طریق وزنی و بر اساس استاندارد ASAE، شماره S 352.1 تعیین گردید (ASAE Standards, 1999). که میزان رطوبت اولیه شلتوک 21 درصد (بر مبنای خشک) بوده است. دستگاه خشک‌کن مایکروویو خانگی (دوو، DEM-281Q0T-PW) برای خشک کردن نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت (شکل 1). دامنه تغییرات سطوح توان مایکروویو خانگی دارای 10 سطح (10 تا 100 درصد با گام 10 درصد) و حداکثر توان مایکروویو 900 وات بوده است. وزن شلتوک در هر لحظه از زمان به‌وسیله ترازوی دیجیتال با دقت g 0/1± که از طریق کابل به کامپیوتر متصل بود اندازه‌گیری و ثبت می‌شد. با توجه به اینکه در توان‌های بالاتر از 50 درصد (توان بالاتر از 450)، دانه‌های شلتوک از هم جدا و باز می‌شوند (کلانتری و جعفری، 1395)، لذا در این بررسی از سه سطح توان 270، 360 و 450 استفاده گردید و دانه‌ها تا سطح رطوبتی 11 درصد خشک شدند. هر نمونه بعد از خشک شدن و رسیدن به رطوبت مورد نظر، در دستگاه پوست‌کن غلطک لاستیکی قرار داده و لایه اول شلتوک برداشته شده و تبدیل به برنج قهوه ای شده و سپس با دستگاه سفیدکن مالشی لایه دوم آن برداشته شده و به برنج سفید تبدیل شد. و برای تعیین میزان درصد برنج سالم، مقدار معینی برنج سفید را در دستگاه سپراتور قرار داده تا میزان برنج سالم به‌دست آید. به‌منظور بررسی کیفیت و رنگ برنج خشک شده، 4 تست شیمیایی از قبیل آمیلوز، غلظت ژل، دمای ژلاتینه شدن و درجه سفیدی برنج در موسسه تحقیقات برنج آمل انجام شد.

سینتیک خشک شدن

می‌توان رطوبت (بر مبنای خشک) نمونه را از رابطه ذیل به‌دست آورد (Rabha, 2017). در این رابطه W_0 و W_d به‌ترتیب وزن اولیه نمونه و وزن نمونه خشک بوده است.

$$M = (W_0 - W_d)/W_d \quad (1)$$

برای بیان سینتیک خشک شدن از نمودار نسبت رطوبت بر حسب زمان استفاده می‌شود که نسبت رطوبت را می‌توان از رابطه 2 به‌دست آورد (Rabha, 2017). در این رابطه MR نسبت رطوبت، M_t رطوبت در هر لحظه از زمان t، M_0 رطوبت اولیه و M_e بیانگر رطوبت تعادلی بوده است.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2)$$



شکل1- خشک‌کن مایکروویو

تعیین ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

مکانیزم‌های انتقال رطوبت، معمولاً پیچیده و دشوار است. پدیده‌های انتقال برحسب نفوذ فشاری، نفوذ اجباری و نفوذ معمولی طبقه‌بندی می‌شود. قانون دوم فیک قادر بوده برای حالت ناپایدار انتقال رطوبت در بخش نزولی فرآیند خشک‌کردن را بیان کند:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{eff}\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \qquad (3)$$

در رابطه (3)، X مقدار رطوبت موضعی در مبنای خشک، t زمان و x شاخص فضایی بوده است. برای استفاده از قانون فیک فرض می‌شود که فرآورده غذایی تک بعدی است و رطوبت اولیه یکنواختی داشته و دارای حرکت درونی رطوبت مانند مقاومت عمده در برابر انتقال رطوبت می باشد. حل معادله فیک برای یک تیغه به‌شکل زیر بوده:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left(-(2n+1)^2\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4l^2}\right) \qquad (4)$$

در رابطه (4)، l نصف ضخامت تیغه (بر حسب متر)، n تعداد عبارات در نظر گرفته شده، t زمان خشک شدن (s) و D_{eff} ضریب نفوذ مؤثر (m^2/s) می‌باشند. ضریب نفوذ موثر توسط محاسبه شیب و از طریق رابطه (5) به‌دست می‌آید.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2}\exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4l^2}\right) \qquad (5)$$

ضریب نفوذ معمولاً با رسم داده‌های تجربی خشک‌کردن Ln MR نسبت به زمان به‌دست می‌آید. هنگامی که نمودار مقدار Ln MR نسبت به زمان رسم شود، شیب خط حاصل شده (k_0) را در رابطه (6) قرار داده تا ضریب نفوذ مؤثر به‌دست آید (Zhao *et al.*, 2016).

$$k_0 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4l^2} \qquad (6)$$

درصد برنج سالم (HRY)

دانه‌هایی که طول آن از 0/75 طول دانه کامل کمتر بود به‌عنوان دانه شکسته در نظر گرفته شد. برای بررسی میزان درصد برنج سالم برای هر نمونه، مقدار 20 گرم از برنج سفید را برداشته و در دستگاه سپراتور قرار داده تا دانه‌های سالم از شکسته جدا شود (Aquerreta *et al.*, 2016). درصد برنج سالم از رابطه (7) محاسبه می‌شود:

(7)   100* (وزن کل برنج/ وزن برنج سالم) =درصد برنج سالم

مدل‌سازی توسط شبکه‌های عصبی

در این تحقیق از نرم‌افزار (MATLAB R2017) برای ایجاد دو شبکه عصبی MLP و RBF برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سینتیک خشک شدن شلتوک در خشک‌کن مایکروویو استفاده شد. این دو شبکه دارای 3 لایه، ورودی، پنهان و خروجی می‌باشد. لایه ورودی شامل 2 نرون بوده که برابر با تعداد متغیرهای ورودی بوده که در این بررسی زمان خشک شدن و توان مایکروویو متغیر ورودی بوده‌اند. لایه خروجی شامل یک نرون بوده که برابر با تعداد متغیرهای خروجی بوده که در این بررسی شامل مقدار رطوبت شلتوک برحسب نسبت رطوبت (MR) بوده است. به‌طور کلی در این تحقیق، 70 و 30 درصد داده‌ها به‌ترتیب برای آموزش و آزمایش شبکه اختصاص یافت.

شبکه عصبی MLP

شبکه‌های چندلایه پیشخور یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین شبکه‌های عصبی مصنوعی بوده است. به‌طور معمول این شبکه‌ها شامل مجموعه ای از واحدهای حسی (نرون‌های پایه) می‌باشند که متشکل از لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی

می‌باشند. سیگنال ورودی در خلال شبکه و در مسیری رو به جلو به شکل لایه به لایه منتشر می‌شود.

در این بررسی، برای آموزش شبکه از الگوریتم لونبرگ مارکوارت استفاده شد که این الگوریتم در قیاس با سایر الگوریتم‌ها دارای سرعت بیشتر و در مقابل حجم محاسباتی بالاتری می‌باشد. به‌طورکلی این الگوریتم برای مسائل پیش‌بینی و یا تخمین، عملکرد قابل قبولی دارد. همچنین از توابع انتقال تانژانت سیگموئید و تابع خطی به‌ترتیب به‌عنوان تابع محرک در لایه پنهان و در لایه خروجی استفاده شد. تعداد نرون‌های لایه پنهان نیز از 5 تا 10 متغیر بوده و به روش آزمون و خطا بهترین توپولوژی (کمترین خطا و بالاترین ضریب همبستگی) انتخاب شد. معادله (8) تابع انتقال تانژانت سیگموئید را بیان می‌کند (Niamnuy *et al.*, 2012).

$$F(x) = 2/((1 + \exp(-2x)) - 1) \quad (8)$$

شبکه عصبی RBF

شبکه عصبیRBF نیز همانند شبکه عصبیMLP دارای 3 لایه بوده است. لایه ورودی، اطلاعات را دریافت و جمع آوری کرده و بردار ورودی X را فرمول بندی می‌کند. لایه پنهان متشکل از L گره بوده، که تبدیلات غیر خطی را به روی بردار ورودی اعمال می‌کنند و لایه خروجی پاسخ نهایی را دریافت می‌کند. خروجی شبکه RBF توسط یک ترکیب خطی از پاسخ‌های لایه پنهان شکل می‌گیرد که به‌صورت رابطه ذیل تعیین می‌شود (Ghritlahre and Prasad, 2018).

$$y_j(x^p) = \sum_{j=1}^{k} w_{ji}\, \emptyset_j(\|x^p - c^i\|),\ i=1,2,\ldots S \quad (9)$$

که ||–|| نورم فاصله اقلیدسی، k تعداد نورون لایه پنهان، $\emptyset_i$ پاسخ نورون لایه پنهان، w_{ji} وزن خروجی، x^p بردار ورودی، y_j خروجی jمین گره خروجی، C^i مرکز و s تعداد نورون‌های خروجی است.

در این شبکه، در لایه پنهان از تابع انتقال شعاعی گوسی که یکی از پرکاربردترین توابع شعاعی در مسائل مهندسی است استفاده شده و در لایه خروجی نیز از تابع انتقال خطی استفاده شد. تابع انتقال شعاعی گوسی به صورت رابطه (10) تعریف می‌شود (Ghritlahre and Prasad, 2018).

$$\emptyset_j(\|x^p - c^i\|) = \exp\left(-\frac{\|x^p - c^i\|^2}{2\sigma_i}\right),\ i=1,2,\ldots,k \quad (10)$$

در رابطه (9)، σ_i پهنای(پراکندگی) i مین گره در لایه پنهان می باشد. پراکندگی σ به‌صورت زیر تعریف می‌شود(تهوری، 1395):

$$\sigma_i = 2 * \sum_{i=1}^{p} |c_{i-1} - c_i| / p \quad (11)$$

در رابطه (11) c_{i-1} و c_i مراکز توابع شعاعی و p تعداد مرکزRBF هستند.

در شبکه RBF دو پارامترحداکثر تعداد نورون و شاخص گستردگی توسط کاربر تغییر داده می‌شود تا بهترین عملکرد شبکه RBF برای مدل‌سازی محقق شود. با توجه به مطالعات انجام شده، دامنه مناسب تعداد نورون در شبکه RBF 20 تا 30 درصد کل داده‌ها پیشنهاد شده است (Kalra *et al.*, 2005). لذا در این بررسی حداکثر نورون تا 30 نورون و شاخص گستردگی نیز(4-3/5- 3- 5/2-5-2/1-1 -0/5) در نظر گرفته شد.

سنجش عملکرد شبکه‌های عصبی طراحی شده

برای ارزیابی توانایی شبکه‌ی طراحی شده در پیش بینی رفتار خشک شدن شلتوک، از دو پارامتر حداقل مربعات خطا (MSE) و ضریب همبستگی (R^2) استفاده شد تا بهترین مدل برای سینتیک خشک شدن که در واقع کمترین خطا و بالاترین ضریب همبستگی را دارد بدست آید. حداقل مربعات خطا و مقدار ضریب همبستگی به‌ترتیب از روابط (12) و(13) به‌دست می‌آید.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n} \quad (12)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{(P_i - O)^2}\right) \quad (13)$$

کهP_i مقدار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی، O_i مقدار واقعی و O میانگین داده‌ها بوده است (Azadbakht *et al.*, 2016).

نتایج و بحث

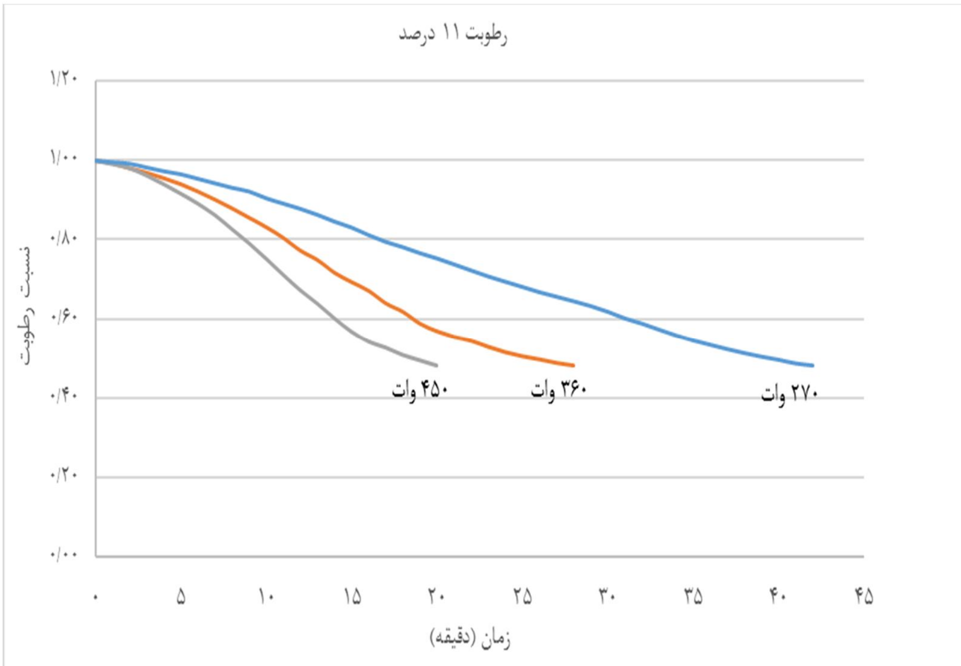
اثر توان مایکروویو بر سینتیک خشک شدن

با توجه به شکل 2، بیشترین زمان خشک شدن مربوط بوده به توان 270 وات بوده که برابر با 42 دقیقه بوده است و کمترین زمان خشک شدن مربوط بوده به توان 450 وات بوده که برابر با 20 دقیقه بوده است. به‌طور کلی با افزایش توان مایکروویو، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد و علت آن این بوده است که با افزایش توان، قدرت نفوذ امواج به داخل دانه‌ها افزایش می‌یابد و در این وضعیت برخورد بین مولکول‌های آب درون دانه‌ها افزایش یافته و در نهایت سرعت از دست دادن رطوبت افزایش می‌یابد و در مدت زمان کمتری به رطوبت مطلوب می‌رسد. با توجه به نمودار، هر چه فرآیند به سمت انتها می‌رود شیب نمودار کاهش می‌یابد و در مدت زمان زیادی رطوبت کمی خارج می‌شود.

اثر توان مایکروویو بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

با توجه به جدول 1، حداکثر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در توان 450وات بوده که برابر با $4/17 \times 10^{-9}$ متر مربع بر ثانیه بوده است و حداقل ضریب نفوذ مؤثر رطوبت مربوط به توان 270 وات بوده که برابر

با $1/82 \times 10^{-9}$ متر مربع بر ثانیه بوده است. با توجه به جدول 1، با افزایش توان مایکروویو ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، روند افزایشی دارد. دلیل وقوع این مسأله این بوده که با افزایش توان مایکروویو، دمای محفظه مایکروویو زیاد می‌شود که باعث ایجاد جنبش مولکولی می‌شود و در نتیجه ضریب نفوذ مؤثر افزایش می‌یابد.



شکل 2- نمودار نسبت رطوبت برحسب زمان

جدول1- ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در توان‌های مختلف

توان (W)	270	360	450
ضریب نفوذ مؤثر رطوبت (m^2/s)	$1/82 \times 10^{-9}$	$3/0 \times 10^{-9}$	$4/2 \times 10^{-9}$

اثر توان مایکروویو بر درصد برنج سالم

با توجه به جدول 2 می توان دریافت که در توان 270 بیشترین درصد برنج سالم (کمترین شکستگی) را داشته و در توان 450 وات کمترین درصد برنج سالم (بیشترین میزان شکستگی) را داشته است. با افزایش توان مایکروویو میزان شکستگی برنج افزایش یافته که با افزایش توان قدرت نفوذ امواج به داخل دانه‌ها افزایش یافته در نتیجه تنش وارده به دانه‌ها افزایش پیدا می‌کند .علت این است که با افزایش توان، برخورد بین مولکول های آب داخل دانه ها بیشتر شده و در نتیجه سرعت از دست دادن رطوبت بالا رفته و در نهایت، شکستگی نیز در دانه ها افزایش پیدا می‌کند.

جدول2- درصد برنج سالم در توان‌های مختلف

ردیف	توان	برنج سالم (%)
1	270	46
2	360	25
3	450	10

اثر توان مایکروویو بر کیفیت و رنگ برنج

به‌منظور بررسی خواص کیفی برنج، از نمونه‌ها تست‌های شیمیایی از قبیل آمیلوز، غلظت ژل و دمای ژلاتینه شدن گرفته شد که حد مطلوب آمیلوز، غلظت ژل و دمای ژلاتینه شدن به‌ترتیب 25-20، 60-40 و 5-4 بوده است. همچنین از نمونه‌ها تست درجه سفیدی نیز گرفته شد و نتایج حاصل از آن در جدول3 آورده شده است. با توجه به نتایج تست‌ها می‌توان دریافت که خشک‌کردن تحت توان‌های مختلف تأثیری بر کیفیت برنج نداشته است و برنج تحت وضعیت مختلف خشک شدن کیفیت خود را از دست نداده است.

جدول3- کیفیت و درجه سفیدی برنج در توان‌های مختلف

ردیف	توان	آمیلوز (%)	غلظت ژل(mm)	دمای ژلاتینه شدن	درجه سفیدی برنج
1	270	23/3	43	3/6	53/1
2	360	23/1	43	3/5	52/9
3	450	23/2	42	3/5	52/6

مدل‌سازی سینتیک خشک شدن توسط شبکه عصبی

نتایج مدل‌سازی سینتیک خشک شدن شلتوک توسط شبکه عصبی MLP و RBF به‌ترتیب در جدول‌های 4 و5 آورده شده است

با توجه جدول 2، توپولوژی‌های مختلف شبکه عصبی MLP عملکرد قابل قبولی در مدل‌سازی سینتیک خشک شدن داشته است. اما به‌طورکلی شبکه با توپولوژی 1-6-2 بهترین عملکرد را داشته است و میزان خطای داده‌های تست آن کمتر از سایر حالات بوده است. از نتایج مربوط به شبکه عصبیRBF که در جدول 3 آورده شده در می‌یابیم که در شاخص پراکندگی پایین (0/5 و 1)، شبکه عملکرد خوبی نداشته است و میزان خطای آن بالا بوده است اما هرچه شاخص پراکندگی افزایش یافت، توانایی شبکه برای مدل‌سازی بهبود یافت. با توجه به جدول 3، بهترین عملکرد در هر شاخص پراکندگی در تعداد نورون بالا محقق شد و این بدان معناست که عملا شبکه RBF در تعداد نورون پایین عملکرد خوبی ندارد. به‌طور کلی بهترین عملکرد شبکه مربوط بوده به توپولوژی 1-24-2 با شاخص پراکندگی 3/5، که میزان خطا کم و ضریب همبستگی آن بالا بوده است. از مقایسه عملکرد 2 شبکه عصبی MLP و RBF در مدل‌سازی سینتیک خشک شدن می‌توان دریافت که شبکه MLP نسبت به شبکه RBF عملکرد بهتری داشته و میزان خطا آن کمتر بوده است. همچنین شبکه MLP توانسته است با تعداد نورون پایین در لایه پنهان مدل‌سازی سینتیک خشک شدن را به‌خوبی انجام دهد. در شکل‌های 3 و 4 مقادیر خروجی شبکه عصبی و خروجی واقعی همه داده‌ها به‌ترتیب برای بهترین آرایش شبکه عصبی MLP و RBF برای سینتیک خشک شدن رسم شده است. به‌طور کلی با توجه به تحلیل های انجام شده بر روی نتایج به‌دست آمده دریافتیم که پارامتر زمان نسبت به توان مایکروویو تاثیر بیشتری بر روی نسبت رطوبت داشته است و وابستگی نسبت رطوبت به زمان بیشتر بوده است.

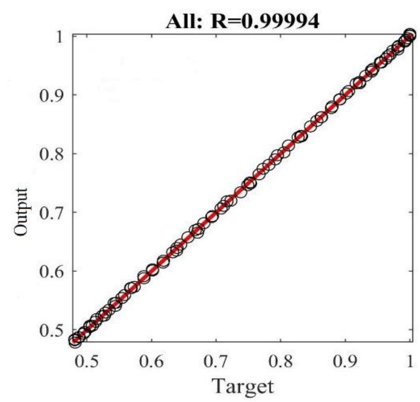
جدول4- نتایج مدل‌سازی سینتیک خشک شدن شلتوک توسط شبکه عصبی MLP

توپولوژی	میانگین مربعات خطا داده‌های آموزش	میانگین مربعات خطا داده تست	میانگین خطای نسبی داده اموزش	میانگین خطای مطلق داده اموزش	میانگین خطای نسبی داده تست	میانگین خطای مطلق داده تست	R^2 آموزش	R^2 تست
2-5-1	$3/44 \times 10^{-6}$	$1/54 \times 10^{-5}$	0/0103	0/0102	0/033	0/0325	0/999	0/999
2-6-1	$1/71 \times 10^{-6}$	$5/1 \times 10^{-6}$	0/0078	0/0071	0/0101	0/0095	0/999	0/999
2-7-1	$1/37 \times 10^{-6}$	$6/58 \times 10^{-6}$	0/006	0/0058	0/0109	0/0107	0/999	0/999
2-8-1	$1/29 \times 10^{-6}$	$8/00 \times 10^{-6}$	0/0058	0/005	0/012	0/0118	0/999	0/999
2-9-1	$1/49 \times 10^{-6}$	$6/74 \times 10^{-6}$	0/0064	0/0061	0/0112	0/0108	0/999	0/999
2-10-1	$7/07 \times 10^{-7}$	$1/89 \times 10^{-5}$	0/0016	0/0011	0/041	0/038	0/999	0/999

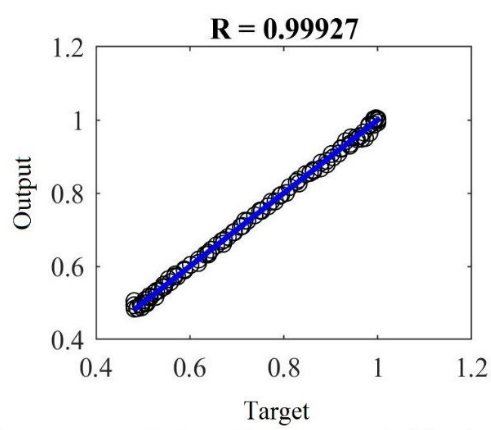
جدول 5- نتایج مدل‌سازی سینتیک خشک شدن شلتوک توسط شبکه عصبی RBF

توپولوژی	شاخص پراکندگی	میانگین مربعات خطا داده آموزش	میانگین مربعات خطا داده تست	میانگین خطای نسبی داده اموزش	میانگین خطای مطلق داده آموزش	میانگین خطای نسبی داده تست	میانگین خطای مطلق داده تست	R^2 آموزش	R^2 تست
2-27-1	0/5	0/0037	0/0108	0/0859	0/0851	0/1078	0/1069	0/88	0/68
2-25-1	1	0/0037	0/0149	0/0859	0/0851	0/1206	0/1201	0/88	0/56
2-27-1	1/5	0/00073	0/0057	0/078	0/075	0/0923	0/092	0/974	0/861
2-27-1	2	0/00063	0/05148	0/071	0/069	0/1561	0/155	0/978	0/95
2-23-1	2/5	0/00013	0/00032	0/0543	0/0518	0/063	0/0601	/994	0/988
2-24-1	3	$4/26\times10^{-5}$	0/00012	0/0275	0/027	0/0529	0/0525	0/998	0/994
2-24-1	3/5	$2/9\times10^{-5}$	$8/76\times10^{-5}$	0/0252	0/0245	0/0428	0/04159	0/998	0/996
2-25-1	4	$7/73\times10^{-6}$	$9/38\times10^{-5}$	0/019	0/0181	0/0446	0/0438	0/998	0/996

شکل3- مقادیر خروجی شبکه عصبی و خروجی واقعی همه داده‌ها برای بهترین آرایش شبکه عصبی MLP



شکل4- مقادیر خروجی شبکه عصبی و خروجی واقعی همه داده‌ها برای بهترین آرایش شبکه عصبی RBF



نتیجه‌گیری

به‌طورکلی با افزایش توان مایکروویو، زمان خشک شدن، درصد برنج سالم و ضریب نفوذ مؤثر رطوبت به ترتیب کاهش، کاهش و افزایش می‌یابد. همچنین خشک کردن در توان های مختلف اثری بر روی کیفیت و رنگ برنج نداشته است. از نتایج مربوط به مدل‌سازی سینتیک خشک شدن شلتوک در خشک‌کن مایکروویو توسط 2 شبکه عصبی MLP و RBF می‌توان دریافت که شبکه MLP با الگوریتم آموزش لونبرگ مارکوارت و تابع انتقال تانژانت سیگموئید عملکرد بهتری نسبت به شبکه عصبی RBF با تابع انتقال گوسی داشته است و همچنین شبکه MLP قادر بوده که مدل‌سازی خشک شدن را در تعداد نورون پایین (5-10) نسبت به RBF (20-30) انجام دهد که میزان خطا و ضریب همبستگی آن به‌ترتیب کمتر و بیشتر از شبکه RBF بوده است

منابع

امیری چایچان، ر.، خوش تقاضا، م.، منتظر، غ.، مینایی، س. و علیزاده، م. 1388. تخمین ضریب تبدیل شلتوک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در خشک‌کردن بستر سیال. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی* . 13 (48): 298-285.

تهوری، ع. 1395. پیش‌بینی خواص مختلف آب‌های طبیعی با استفاده شبکه عصبی مصنوعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

جعفری، ح.، کلانتری، د و آزادبخت، م. 1394. بررسی نرخ تغییر رطوبت و درصد شکستگی دانه‌های شلتوک با استفاده از خشک‌کن مایکروویو. *فناوری‌های نوین غذایی*، 2 (4) : 63-74 .

خوش تقاضا، م.، حسین زاده سامانی، ب.، فیاضی، ا. و امیر نجات، ح. 1395. پیش‌بینی محتوای رطوبتی خشک شدن لایه نازک قارچ خوراکی به‌کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی پس انتشار. *علوم و صنایع غذایی*. 13(50): 182-171.

کلانتری، د.، جعفری، ح. 1395. مقایسه پارامترهای خشک شدن و خصوصیات کیفی شلتوک طارم هاشمی با استفاده از مایکروویو جریان مداوم و مایکروویو خانگی. فناوری‌های نوین غذایی، 3 (12): 88-77.

کلیکانلو, و.، رحمتی، محمد هاشم.، علیزاده, محمدرضا. و پورباقر, رقیه. 1396. اثر دبی و دمای هوای ورودی بر ویژگی های تبدیل و زمان خشک شدن سه رقم شلتوک در خشک کن بسترسیال با چرخه بسته. *تحقیقات غلات*، 6 (3): 395-385.

مختاریان، م.، کوشکی، ف.1391. تخمین پارامترهای خشک کردن گوجه فرنگی با کمک شبکه های عصبی مصنوعی. *پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی*، (1)1: 74-61.

یوسفی، ع.، قاسمیان، ن. و سالاری، ا. 1396. مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن برش‌های لیموترش به‌روش تابش مادون قرمز با استفاده از شبکه عصبی هیبریدی. *فناوری‌های نوین غذایی*، 5 (1):105-91.

Akin, D. & Akba, B. 2010. A neural network (NN) model to predict intersection crashes based upon driver, vehicle and roadway surface characteristics. *Sci. Res. Essays*, *5*(19): 2837-2847.

Alibas, I. 2014. Mathematical modeling of microwave dried celery leaves and determination of the effective moisture diffusivities and activation energy. *Food Science and Technology*, 34(2): 394-401.

Aquerreta, J., Iguaz, A., Arroqui, C., & Virseda, P. 2007. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. *J. of Food Engineering*, 80: 611-618.

ASAE Standards. 1999. D245.5. Moisture relationship of plant based agricultural products (46th Ed.). St. Joseph, Mich.: ASAE.

Azadbakht, M., Aghili, H., Ziaratban, A. & Torshizi, M.V. 2017. Application of artificial neural network method to exergy and energy analyses of fluidized bed dryer for potato cubes. *Energy*, *120*: 947-958.

Cao, C. & Wang, X.B. 2002. Automatic control of grain driers. *Modernizing Agric*, *2*: 40-44.

Darvishi, H., Khoshtaghaza, M.H., Najafi, G. & Zarein, M. 2013. Characteristics of sunflower seed drying and microwave energy consumption. *International Agrophysics*, *27*(2): 127-132.

Firouzi, F. & Alizadeh, M.R. 2013. An investigation of the effects of harvesting time and milling moisture content of paddy on the quality of milled rice. *International Journal of Biosciences*, 3 (10): 133-138.

Jafari, H., Kalantari, D. & Azadbakht, M. 2018. Energy consumption and qualitative evaluation of a continuous band microwave dryer for rice paddy drying, *Energy*, 142:.647-654.

Scala, K.D., Meschino, G., Vega-Galvez, A., Lemus-Mondaca, R., Roura, S. & Mascheroni, R. 2013. An artificial neural network model for prediction of quality characteristics of apples during convective dehydration. *Food Science and Technology*, 33(3): 411-416.

Ghritlahre, H.K. & Prasad, R.K. 2018. Exergetic performance prediction of solar air heater using MLP, GRNN and RBF models of artificial neural network technique. *Journal of environmental management*, *223*: 566-575.

Hemis, M., Choudhary, R. & Watson, D.G., 2012. A coupled mathematical model for simultaneous microwave and convective drying of wheat seeds. *Biosystems engineering*, 112(3): 202-209.

Kalra, R., Deo, M.C., Kumar, R. and Agarwal, V.K. 2005. RBF network for spatial mapping of wave heights. *Marine Structures*, 18(3): 289-300.

Karaaslan, S.N. & Tuncer, I.K. 2008. Development of a drying model for combined microwave–fan-assisted convection drying of spinach. *Biosystems Engineering*, 100(1): 44-52.

Kouchakzadeh, A. & Shafeei, S., 2010. Modeling of microwave-convective drying of pistachios. *Energy Conversion and Management*, 51(10): 2012-2015.

Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of food engineering*, 44(2): 71-78.

Minaei, S., Rohi, G.R., & Alizadeh, M.R. 2003. Effect of rice crop parameters and dryer on paddy milling waste and hardness. In *Second national symposium on losses of agricultural products. Tehran*.

Momenzadeh, L., Zomorodian, A., & Mowla, D. 2011. Experimental and theoretical investigation of shelled corn drying in a microwave-assisted fluidized bed dryer using Artificial Neural Network. *Food and bioproducts processing*, 89(1), 15-21.

Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B. & Khoshtaghaza, M.H. 2014. Comparison of energy parameters in various dryers. *Energy Conversion and Management*, 87:711-725.

Niamnuy, C., Kerdpiboon, S. & Devahastin, S. 2012. Artificial neural network modeling of physicochemical changes of shrimp during boiling. *LWT-Food Science and Technology*, 45(1):110-116.

Rabha, D.K., Muthukumar, P. and Somayaji, C. 2017. Experimental investigation of thin layer drying kinetics of ghost chilli pepper (Capsicum Chinense Jacq.) dried in a forced convection solar tunnel dryer. *Renewable energy*, 105: 583-589.

Rad, S.J., Kaveh, M., Sharabiani, V.R. & Taghinezhad, E. 2018. Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. *Heat and Mass Transfer*, 1-14.

Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z. & Godarzi, M. 2015. Apricot osmotic drying modeling using genetic algorithm-artificial neural network. *Journal of Innovation in food Science and Technology*, 7: 65-76.

Therdthai, N. & Zhou, W. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (Mentha cordifolia Opiz ex Fresen). *Journal of Food Engineering*, *91*(3): 482-489.

Yadollahnia, A. R. 2006. A thin layer drying model for paddy dryer, Msc thesis, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Farsi)

Zhao, P., Zhong, L., Zhu, R., Zhao, Y., Luo, Z. & Yang, X. 2016. Drying characteristics and kinetics of Shengli lignite using different drying methods. *Energy Conversion and Management*, 120: 330-337.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 2, June. July. 2020, p. 331- 341

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 2، خرداد-تیر 1399 ص.341-331

Modeling and investigation of the performance of *MLP* and *RBF* during the paddy rice drying in microwave dryer

M. E. Mohammad Pour Mir, S. Nanvakenari, K. Movagharnejad*

Received: 2019.05.17
Accepted: 2019.08.27

Introduction: Rice is one of the most important cereals and is the second-highest worldwide production after wheat and also is a good source of nutrients for human. It plays an important role in the feeding of the many parts of the world including Iran. The harvested paddy rice has the high initial moisture content nearly 25-28% (wet basis) that caused corruption. Therefore, in order to prevent corruption and safe storage, it must be dried to 10-13% moisture content. Drying is one of the oldest methods of preserving food and agricultural products that used to increase the food's storage time. There are several methods for drying paddy rice that none of them are ideal and have several advantages and disadvantages that one of them that recently the use of it has been increased is microwave drying. Microwave drying uses electromagnetic radiations with the frequency range of 300 MHz to 300 GHz and the wavelengths of 1-0.01m. In microwave drying due to better energy concentration, moisture is removed more quickly so the drying time decreases. Due to the complex relationship between input and output variables in the drying process, selection of the model that can estimate the drying behavior of the products is difficult. Hence, the use of intelligent modeling method such as neural network is the best choice.

Materials and methods: In this research, in order to investigate the effect of microwave power on kinetics of rice drying, head rice yield and effective diffusivity coefficient of moisture, a continuous type of domestic microwave dryer (DEM-281 QOT-PW) was used. This dryer has a microwave radiation chamber where the samples are put on it on the tray that was placed on a digital balance. The experiments were performed at three microwave power levels designated as 270, 360 and 450 W. Also, Shirudi paddy rice was used as the raw material and the drying rice process from the initial moisture content of 21% to the final moisture content of 11% is examined. In this study the neural network toolbox of MATLAB 2017R was used to model the kinetics of rice drying in microwave dryer. RBF and MLP have 3 layers including input, hidden and output layers. Input layer has two neurons that show the number of input variables that were time and microwave power and output layer has one neuron that show the number of output variables that was MR in this study. 70% and 30% of the data was used for training and testing the network, respectively. To estimate the ANN performance, mean square error (MSE) and the coefficient of determination (R^2) was used.

Results and discussion: The maximum and minimum drying time was 42 and 20 minutes in 270 and 450 watts, respectively. Also, the maximum and minimum effective diffusivity coefficient of moisture was 4.17 * 10^-9 and 1.82* 10^-9 in 450 and 270 watts, respectively. RBF network with Guassian transfer function and high neurons number and MLP network with Levenberg-Marquardt (LM) learning algorithm and tan-sigmoid (tansig) transfer function with low neurons number were able to model the kinetics of drying as well as. In general, the drying time and head rice yield decreased but the effective diffusivity coefficient of moisture increased by increasing the microwave power. Also drying at different microwave power did not effect on rice color and quality. The results of the modeling of rice drying by using two different neural networks including MLP and RBF demonstrated that the MLP network with Levenberg-Mrrqurdt (LM) learning algorithm and tan-sigmoid (tansig) transfer function has the better performance than the RBF network with Gussian transfer function and the error and the correlation coefficient in MLP are less and higher than the RBF, respectively.

Keywords: Microwave dryer, Head rice yield, Kinetics of rice drying, Neural network, Effective diffusivity coefficient of moisture, Rice quality.

Faculty of Chemical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Mazandaran, Iran
(*- Corresponding Author Email: k-movaghar@nit.ac.ir)